

AVANCES EN LA ELABORACION DE UN CALEFÓN SOLAR DE MUY BAJO COSTO CON CIRCULACION FORZADA INTERMITENTE

N. Di lalla^{1,2}, L.E. Juanicó^{1,3}

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

2 Departamento de Materiales, Centro Atómico Constituyentes.

3 Departamento de Combustibles Nucleares, Centro Atómico Bariloche

Tel. 011 6772-7764; email: ndilalla@gmail.com

Recibido 14/08/13, aceptado 30/09/13

RESUMEN: se presenta la idea de un calefón solar con recirculación forzada e intermitente mediante una automatización de muy bajo costo. Consta de un colector de absorbedor de manguera de polietileno en forma de espiral, un tanque plástico de acumulación, y una pequeña bomba de recirculación conmutada por un termostato. Con el fin de lograr un sistema integralmente muy económico, se evaluó la aplicación de films de polietileno alveolar para la elaboración de la cubierta transparente del colector y para el aislamiento del tanque acumulador. Con este material se obtuvo más calentamiento en el absorbedor que con los habituales policarbonatos alveolares, a un precio 30 veces menor. Se elaboró un prototipo de pequeña escala (1 m², 60 litros) a un costo aproximado de 450 \$. Las primeras mediciones realizadas en época templada, indican que puede fácilmente acumularse por cada m² de colector 60 litros de agua a 50 °C.

Palabras clave: calefón solar, circulación forzada, bajo costo.

INTRODUCCIÓN

Generalmente las aplicaciones de mangueras de polietileno de baja densidad (PEBD) en energía solar térmica se basan en elaborar un absorbedor termosifónico tipo parilla (varias mangueras conectadas en paralelo) (Domini, 2004). En un reporte anterior (Di Lalla y Juanicó, 2012) mostramos las interesantes cualidades que poseen estas mangueras para el calentamiento de grandes cantidades de agua, proponiendo la idea de utilizarlas en un solo tramo de gran longitud, extendida o enrollada. Logrando así una configuración más sencilla de construir, con menos acoples, y por ende, menores posibilidades de pérdidas. Con esta configuración no termosifónica, la entrada de la manguera va conectada a la red, o tanque de suministro, y la salida al consumo.

Es importante destacar que gracias a la alta relación área/volumen que poseen esta geometría, con mangueras de PEBD se puede lograr un muy rápido calentamiento del inventario de agua contenido, cosa que posibilita, a diferencia de los colectores convencionales, la obtención de agua caliente en forma muy rápida y económica. Para ilustrarlo, en la figura 1 se muestran las evoluciones comparativas de temperaturas del agua contenida en cuatro mangueras de PEBD de diferentes diámetros, las mismas fueron cubiertas con un material plástico transparente y expuestas bajo una misma radiación solar constante.

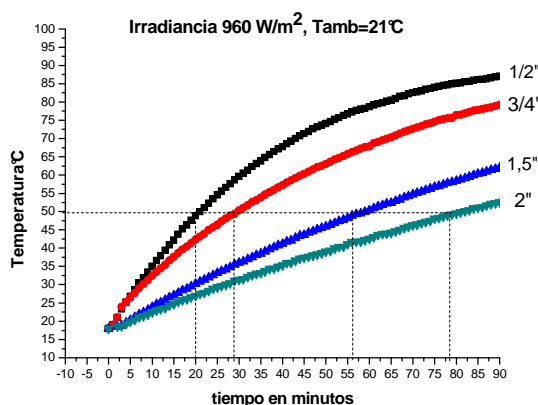


Figura1. Evoluciones de temperaturas del agua contenida en distintos diámetros de mangueras de PEBD.

Es importante decir que los tiempos de calentamientos mostrados en la gráfica, no dependen de las longitudes de las mangueras, y por ende, de los volúmenes de agua contenidos. Esto posibilita, eligiendo suficiente longitud de manguera, calentar grandes volúmenes de agua en poco tiempo y en forma muy económica. La Tabla 1 muestra, para cada diámetro de manguera, los tiempos necesarios para calentar agua, con buena radiación, de 20°C a 50°C. Además indica el volumen de agua que puede obtenerse, en esos tiempos, por cada 100 metros de cada manguera, y los precios unitarios.

Diámetro de manguera	Volumen de agua por cada 100 metros	Tiempo de calentamiento desde 20°C hasta 50°C ($I = 960 \text{ W/m}^2$)	Precio /metro de manguera de PEBD
0,5"	10 litros	20 min	1 \$
0,75"	28 litros	30 min	2,50 \$
1,5"	113 litros	55 min	5,50 \$
2"	180 litros	80 min	10 \$

Tabla 1. Se muestra el gran potencial de calentamiento de agua del sistema de manguera absorbadora, y los bajos costos asociados.

Estos sistemas en días de buena radiación, pueden alcanzar muy altas temperaturas (en mangueras de $\frac{3}{4}$ " más de 90°C en verano, y más de 60°C en invierno), pero presentan el problema del rápido enfriamiento nocturno, figura 2.

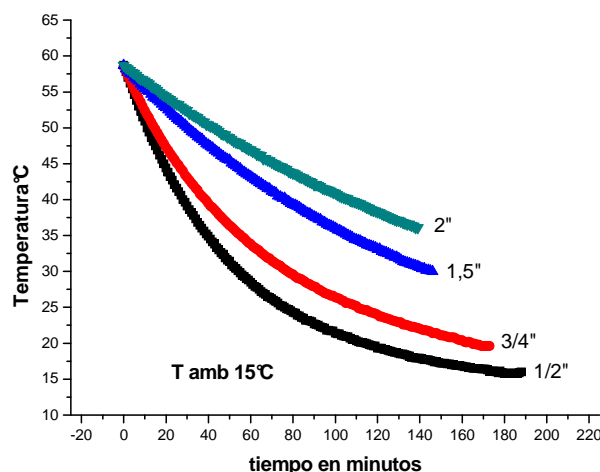


Figura 2. Rápido enfriamiento del sistema de manguera absorbadora.

Este rápido enfriamiento imposibilita el desempeño de la manguera como acumulador de agua caliente. En nuestro reporte anterior, para poder acumular al agua caliente generada durante el día, se propuso la utilización de un sistema de descarga automatizada e intermitente. El mismo descarga por gravedad, hacia un tanque acumulador aislado, los volúmenes de agua caliente que se van generando en la manguera durante el día. Dichas descargas son promovidas por la apertura de una electroválvula, la misma es conmutada por un termostato bimetalico cuando la temperatura del agua llega a cierto valor elegido.

La idea propuesta en este trabajo

En el presente trabajo, continuando con la idea de aprovechar la gran potencialidad solar térmica y los bajos costos asociados de los sistemas de manguera absorbadoras de PEBD, se propone un mecanismo alternativo a la descarga intermitente. La propuesta es realizar la recirculación forzada del agua calentada en la manguera, hacia un tanque de acumulación, mediante una automatización de muy bajo costo. La idea es producir la recirculación del agua de forma automática e intermitente por intermedio de una pequeña electrobomba, la misma es activada por un termostato bimetalico, intercalado, a través de una rosca, en la manguera. El termostato es similar a los usados en los sistemas de electro ventilador de los radiadores de los automotores. En nuestro caso, el termostato enciende la electrobomba cuando la temperatura del agua está dentro de cierto rango, por ejemplo entre 40°C y 50°C (histéresis del termostato). La recirculación moviliza el agua caliente en la manguera, eleva la temperatura del agua en el tanque de acumulación, y mantiene al sistema en temperaturas moderadas, mejorando el rendimiento global de conversión al disminuir las pérdidas de calor. La aplicación de elementos de bajo costo y fáciles de conseguir como el termostato y la electrobomba, dan una alternativa simple y económica a los sistemas de recirculación automática convencionales, que generalmente operan con microcontroladores.

Resumidamente, el sistema propuesto está armado con tecnología casera y cuenta básicamente con: un colector plano cuyo absorbador está elaborado con manguera de riego enrollada en forma de espiral, un tanque plástico de acumulación, un termostato bimetalico y una electrobomba. Por seguridad se utilizó un circuito de baja tensión (12 V) para el termostato, este comanda la bomba de 220 V a través de un relé de estado sólido (SSR). La figura 3 muestra un esquema.

Es importante notar, en el diseño propuesto, que la salida para el consumo de agua caliente se toma desde la parte media de la manguera absorbadora en el colector. Esto es para aprovechar el rápido calentamiento de la manguera, y poder acceder a parte del inventario de agua caliente en su interior en las primeras horas de la mañana mientras el agua del tanque aún no está caliente. Por ejemplo, con manguera de $\frac{3}{4}$ " en verano se puede acceder a agua a 40°C después de las 9 AM, y en invierno después de las 11 AM, la cantidad de agua caliente rápidamente disponible depende de la longitud de manguera utilizada.

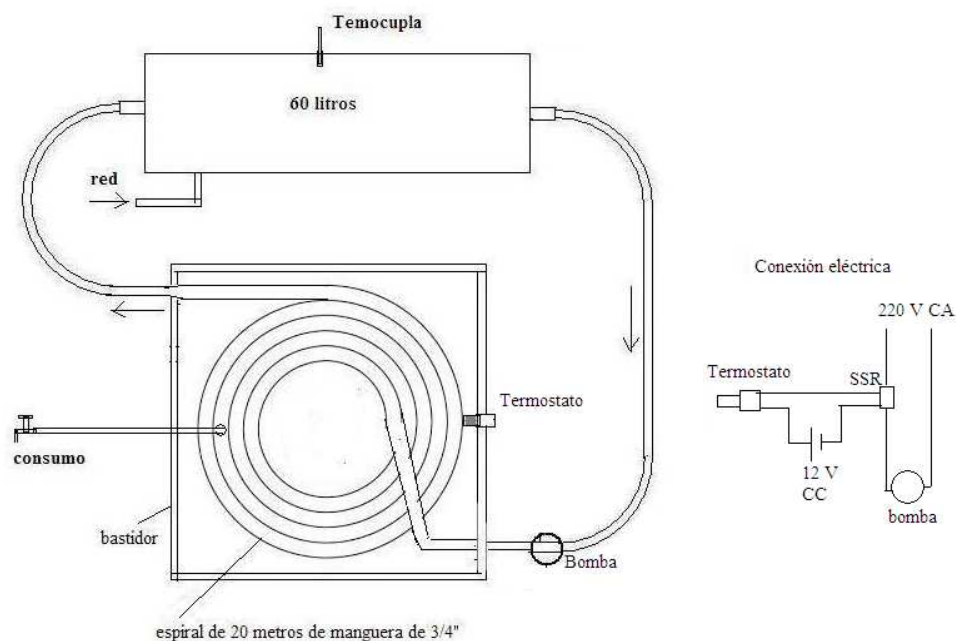


Figura 3. Esquema del sistema por recirculación intermitente propuesto.

Asegurar la concepción de un sistema eficiente y de muy bajo costo, establece la necesidad de emplear técnicas de elaboración simples y elementos de construcción corrientes y baratos. En orden a esto, en la elaboración del colector, no solamente se propone el empleo de manguera de PEBD como absorbedor en reemplazo de materiales onerosos como el cobre, además, en búsqueda de bajar el costo asociado a la cubierta del absorbedor, proponemos la utilización de láminas de polietileno alveolar, comercialmente denominado "Pluribol" (PB), en reemplazo de las placas de policarbonatos alveolares convencionales. Los films de PB además de ser muy económicos, presentan buena transparencia en el visible e interesantes característica aislantes del calor. Estas cualidades pueden ser utilizadas para elaborar, a bajo costo, tanto la cubierta del colector, como la aislación del tanque de acumulación, todo esto fue evaluado a través de distintos ensayos en este trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

Se evaluó el uso de las láminas de polietileno con burbujas de aire (de 10 mm de diámetro) como cubierta aislante y transparente para el colector, y como aislante del tanque acumulador.

Evaluación de PB para su uso como cubierta en el colector

Se comparó el comportamiento como cubierta de las láminas de PB respecto de otros materiales plásticos convencionales, tales como PC alveolar de 4 y 8 mm, y láminas de PET de 0,75 mm. Primeramente, se midieron las transmitancias promedio de estos materiales, la Tabla 2 resume las medidas obtenidas y se detallan los precios unitarios de cada uno.

Material	Transmitancia solar promedio	Protección UV	Precio por m ²
PC alveolar 4 mm	0,81	sí	67
PC alveolar 8 mm	0,71	sí	80
PET 0,75 mm	0,91	no	42
PB 1 capa	0,87	no	1

Tabla 2. Transmitancias promedio de distintos materiales plásticos y sus precios.

La evaluación comparativa como cubiertas de los materiales de la Tabla 2 se llevó a cabo en un pequeño colector elaborado con 4 compartimientos separados y aislados. En cada uno se dispuso un tramo de 70 cm de manguera negra de 3/4". Cada compartimiento fue cubierto con una lámina de la Tabla 2. Para asegurar la comparabilidad de los resultados las evoluciones de temperaturas de los absorbedores fue realizada en forma simultánea, bajo las mismas condiciones de radiación y temperatura ambiente externa.

La figura 4 muestra las evoluciones de temperatura de cada absorbedor, se midió tanto el calentamiento como el enfriamiento, esto último, para comparar las pérdidas de calor del absorbedor en los momentos en los cuales no hay radiación.

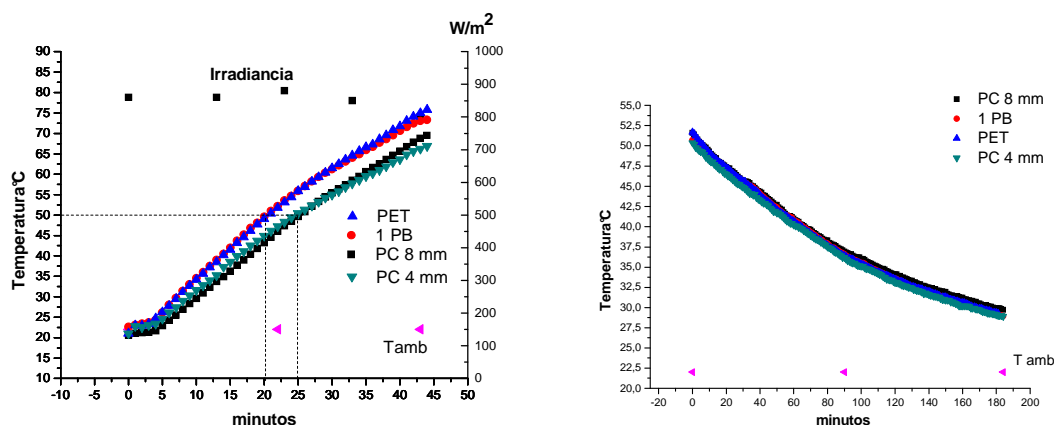


Figura 4. Comparación de los distintos materiales de la Tabla 2 como cubiertas, calentamiento ($I \approx 870 \text{ W/m}^2$), y enfriamiento ($I = 0$).

En cuanto al calentamiento, es interesante observar la mejor prestación comparativa de la mono lámina de PB respecto de las placas de PCs alveolares. Se observó que el enfriamiento comparativo de los absorbedores a través de las distintas cubiertas ensayadas fue muy similar.

Dado a la interesante prestación mostrada por el PB, se buscó determinar el número óptimo de capas de este material que posibilite, a través del compromiso entre la entrada de radiación solar y las pérdidas de calor al exterior, el más rápido aumento de temperaturas en el absorbedor. Entonces en el mismo dispositivo se ensayaron simultáneamente 1, 2, 3 y 4 capas de PB. En distintos ensayos, se observó que con una cubierta realizada con una la doble capa de PB se maximiza la ganancia de calor, figura 5 (izquierda). Finalmente, la figura 5 (derecha) muestra que para $T < 80^\circ\text{C}$ la doble capa de PB presenta una mejor prestación respecto al PC alveolar de 4 mm. Como las temperaturas de trabajo buscadas para el sistema están dentro de ese rango, se concluye que la doble capa de PB es más conveniente.

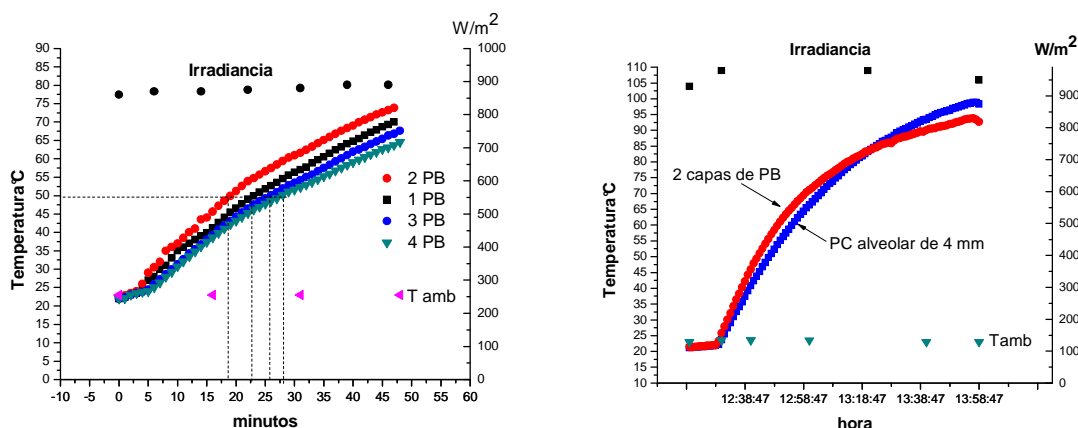


Figura 5. Izquierda: evaluación comparativa de cubiertas realizadas con varias capas de Pluribol. Derecha: comparación de doble capa de PB con PC alveolar de 4 mm.

En ensayos a baja radiación (150 W/m^2) y T_{amb} de 20°C con cubiertas elaboradas con una doble capa de PB se obtuvieron, calentamientos hasta 50°C en 70 minutos, mostrando también en esa situación una mejor prestación respecto del PC alveolar de 4 mm.

Es muy importante destacar que si bien la doble capa de PB supera en prestación al PC alveolar de 4 mm a un costo aproximadamente 30 veces menor, no hay que olvidar que el PB sufre la acción de la radiación UV, produciéndose con el tiempo un cambio paulatino en su transparencia, y al cabo de unos años, su destrucción total. Este inconveniente puede ser subsanado a través del agregado de una capa externa de un film de nylon de 100 micrones con protección UV, estos filmes poseen transmitancias superiores al 90%, su costo es de aproximadamente $3 \text{ \$/m}^2$.

Evaluación del PB para el uso como aislante del tanque acumulador

La idea de la aplicación del PB para el aislamiento del tanque acumulador conlleva no solamente a la utilización de un material de muy bajo costo, sino además a la utilización de un proceso de muy fácil armado. En orden a esto, la idea es elaborar un tanque acumulador a partir de un tanque plástico cilíndrico, al cual se le pueda aplicar fácilmente una envoltura de varias capas de aislante, en nuestro caso de PB. Para estimar la cantidad de capas de PB necesarias para lograr una adecuada aislación se realizaron una serie de ensayos de enfriamientos en condiciones controladas. La Tabla 3 muestra los

valores de los coeficientes de pérdidas globales obtenidos al envolver al tanque plástico con varias capas de PB. Además, para comparar, se obtuvo el valor del coeficiente al utilizarse 5 cm de poliestireno expandido de 20 Kg/m³.

Aislación del tanque hecha con:	Coefficiente de pérdidas medido W/m ² °C
Telgopor 5 cm	2,2
4 vueltas de PB	5,6
8 vueltas de PB	4,1
12 vueltas de PB	3,5
12 vueltas de PB + lámina aluminizada	2,8

Tabla 3. Coeficientes de pérdidas globales del tanque al recubrirlo con distintas capas de PB.

Es interesante observar como la incorporación de una delgada lámina aluminizada en contacto con el tanque, reduce la pérdida de calor a un 80 %, sin introducir un costo importante.

Elaboración y evaluación del prototipo de pequeña escala

Para poder realizar el ensayo del sistema propuesto, se elaboró un pequeño prototipo de relación volumen de tanque /área de captación de 60 litros/m². El prototipo constó de un colector con absorbedor de 20 metros de manguera de PEBD K4 de ¾" en forma de espiral. Con esta cantidad de manguera, el colector resultó de 1 m² de área de colección. El marco de bajo costo del colector se elaboró con soleras galvanizadas (para colocación de Durlock) de 7 cm. La parte interna del colector fue aislada inferior y lateralmente con poliestireno expandido de 20 kg/m³ de 2 cm de espesor. Entre la manguera y el poliestireno expandido se colocó un film de 200 micrones de nylon negro. La cubierta del colector fue elaborada con dos capas de Pluribol.

Por otra parte el tanque fue elaborado a partir de un recipiente plástico cilíndrico de 60 litros, en este ensayo el tanque fue recubierto con 6 capas de PB.

Como bomba de recirculación fue elegida la más común y económica del mercado, la misma es de 220 V y 30 watts de potencia. Como se dijo, la bomba no opera en forma continua, por acción del termostato, lo hace solo cuando la temperatura del agua en la manguera absorbidora llega a cierto valor. En nuestras experiencias se eligió un termostato de histéresis (45-55°C) y fue ubicado en el punto medio la manguera absorbidora. El caudal de la bomba fue limitado, de tal manera de generar un flujo lento que permita que el termostato tenga tiempo para termalizar, dado a que posee cierta inercia térmica.

La figura 5 muestra un ensayo, sin extracción de agua, realizado en el mes de mayo, el colector fue orientado hacia en norte con un ángulo de elevación de 30°. El ensayo comenzó a las 10: 30 hs, se muestran las evoluciones de temperaturas del agua en el tanque acumulador, y del agua a la salida de la manguera.

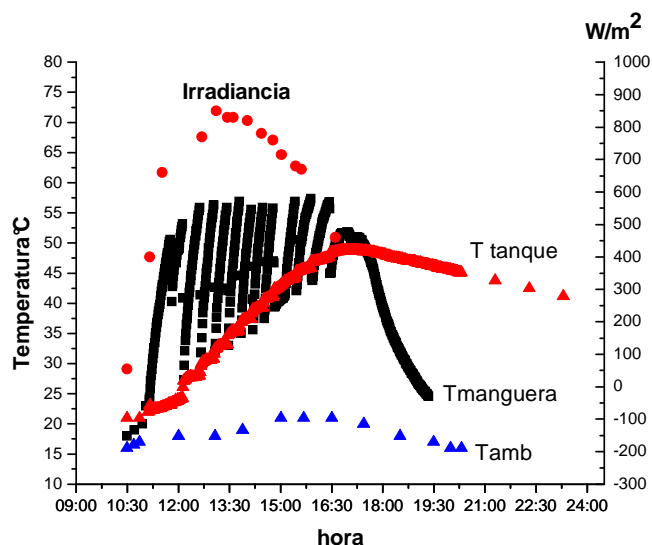


Figura 5. Evoluciones de temperatura en el tanque de acumulación y en la manguera absorbidora. (La irradiancia fue medida en el plano del colector).

La gráfica de la temperatura del agua a la salida de la manguera muestra las intermitencias debido al encendido y apagado de la electrobomba.

COSTOS DE MATERIALES

La Tabla 4 detalla los precios de los elementos constituyentes del prototipo al momento en que se elaboró.

MATERIALES COLECTOR (1 m²)	Costo:	MATERIALES TANQUE (60 litros)	Costo:	MATERIALES ELÉCTRICOS	Costo:
Manguera de ¾" 20 metros	50 \$	Tanque plástico 60 litros	60\$	Bomba 30 watts	80 \$
Poliestireno Expandido 12 Kg/cm ² , espesor 2 cm,	18 \$	Pluribol para aislación	20 \$	Termostato bimetalico	50 \$
Soleras de 8cm , 4 metros	30 \$	Conexiones plásticas	20	Relé SSR	50 \$
Nylon negro de 200 micrones 1 m ²	4 \$	PARCIAL tanque	100 \$	Transformador 12 V, 20 Watts	50\$
Cubierta de pluribol 2 m ²	2 \$			PARCIAL eléctricos	230 \$
Conexiones plásticas, espigas etc	20 \$				
PARCIAL colector	124 \$				

Tabla 4. Detalle de costos de materiales para un colector por recirculación forzada de 1 m², y tanque de almacenamiento de 60 litros.

Vemos que el costo total de elaboración de un colector casero de circulación forzada de 1 m² y 60 litros de capacidad, que utiliza una automatización basada en un termostato del tipo usado en los automotores, no supera los 500 \$.

CONCLUSIONES

Conclusiones generales:

Con poca inversión, utilizando materiales corrientes (manguera, termostato, electrobomba), y aplicando tecnología casera, puede construirse un colector solar automatizado por recirculación forzada.

A pesar del muy bajo costo de elaboración del prototipo (454 \$) el sistema de recirculación forzada intermitente fue capaz, en el mes de mayo, de producir y acumular 60 litros de agua a 50°C.

Gracias a la particular característica de diseño propuesta: toma del consumo de agua desde el medio de la manguera absorbadora, y a su rápido calentamiento, el diseño permite la posibilidad de acceder a agua a 40°C desde la mañana temprano (en verano desde las 9 AM, y en invierno después de las 11 AM) mientras el agua del tanque aún no está caliente.

La recirculación automatizada conmutada por intermedio de un termostato bimetalico del tipo para automotor, es muchísimo más económica que las propuestas a base de microcontroladores. Estos termostatos han mostrado ser muy confiables en la tarea de arranque y parada de la electrobomba; generalmente su vida en servicio permite cientos de miles de ciclos. La histéresis del termostato puede seleccionarse en función de los requerimientos de temperatura de consumo, o de las características climáticas de la zona.

Los films de polietileno transparentes con burbujas de aire (PB) son muy económicos, y han mostrado muy buenas cualidades como cubiertas transparentes y como aislación térmica. Como cubierta brinda una alternativa eficiente y muy económica en reemplazo de los policarbonatos y vidrios. Como aislamiento térmico se destaca por la facilidad de aplicación en tanques cilíndricos.

Propuestas a futuro

La experiencia obtenida en la elaboración y evaluación del prototipo nos sirve para reproducir un sistema en una escala algo mayor, por ejemplo 100 m de manguera y un tanque de 300 litros, que se prevé elaborar.

Estos ensayos apuntan a poder dimensionar sistemas de mayores escalas, de mayores potencias de recirculación, utilizando mangueras extensas y de mayores diámetros. Con la idea de proveer de grandes volúmenes de agua caliente de manera muy económica a: invernaderos, granjas, todo tipo de emprendimientos agrícolas e industriales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Bulbos Geny por habernos facilitado gratuitamente varios termostatos que han servido para la realización de diversos ensayos.

REFERENCIAS

Di lalla N., Juanicó I. Avances en la Elaboración de un Sistema Termosolar Automatizado de Bajo Costo que Utiliza Manguera de Riego de PEBD. Revista AVERMA Vol 16, 2012. Pag 03.39 – 03.46.

Domini M. T, Medina M, Lara M.A. Colector Solar Multitubo de Polietileno para Acondicionamiento Térmico de Estanques. AVERMA Vol 8, 1 2004 .

ABSTRACT

We propose a low cost solar water heater which acts by an intermittent forced circulation. Uses a spiral of LDPE hoses as absorber collector, a plastic storage tank, and a small recirculation pump commuted by a thermostat. In order to achieve a integral inexpensive system, we evaluated the application of alveolar polyethylene films, for the elaboration of the transparent cover of the collector, and for storage tank insulation. By comparing this material with the conventional alveolar polycarbonates we obtained a better heating of the absorber at a cost 30 times lower. Was prepared a small-scale prototype (1 m², 60 liters) with approximately 60 dollars. The first measurements made in autumn, show that it may easily be obtained 60 liters of water at 50 °C per m² of collector.

Keywords: LDPE solar water heater, forced circulation, low cost.